

第8次南極地域観測越冬隊宇宙線部門報告 ——宇宙線中性子連続観測——

石田喜雄*・小玉正弘**

REPORT OF COSMIC-RAY NEUTRON OBSERVATION IN THE 8TH JAPANESE ANTARCTIC RESEARCH EXPEDITION 1967-1968

Yoshio ISHIDA* and Masahiro KODAMA**

Abstract

At Syowa Station, Antarctica, the cosmic-ray neutron observation was made, at the initial stage, with the IGY-type neutron monitor during the period from March 1960 to December 1961. On the opportunity of IQSY, a new type of cosmic-ray meter, IQSY-type neutron monitor, was developed by CARMICHAEL. In February 1967, the IQSY-type neutron monitor consisting of three counters (3-NM-64) was installed at Syowa Station in the 8th Japanese Antarctic Research Expedition. In February 1968 seven counters were added and two more in February 1969, finally twelve counters.

The recording system for observation comprises the so-called multiplicity meter, by which the counting rates are divided into six channels, multiplicity=1 to more than 6, according to the neutron multiplicity detected within the gating time of 1 m sec. The

counting rates are automatically printed and punched on a tape every ten minutes. This readout equipment became duplex since February 1968.

The cosmic-ray observation room was specially designed so as to avoid influence of snowdrift around the building in which the neutron monitor is installed, and also to keep the room temperature constant throughout the year. In practice, no snow effect on the neutron intensity was recognized and the room temperature was $20^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ in 1967.

This report describes details of the cosmic-ray neutron observation in 1967-1968 and some results deduced from data analyses. The atmospheric effect, the diurnal variation and the Forbush decrease were investigated in connection with the neutron multiplicity, particularly with regard to the remarkable Forbush event in May 1967.

* 福島大学教育学部物理学教室 Department of Physics, Fukushima University, Fukushima

**理化学研究所宇宙線研究室 The Institute of Physical and Chemical Research, Itabashi-ku, Tokyo

1. は じ め に

南極昭和基地 ($69^{\circ}00'S$, $39^{\circ}35'E$) での宇宙線観測は、1957年3月東オンクル島への観測基地設置と同時に始められた。観測の初期の段階では、誰にでも操作可能であるようにと、最も簡易かつ確実なネヤー型電離箱が用意された(北村等, 1959), その後南極用に特に設計された中性子計および中間子計が設置されたが (FUKUSHIMA *et al.*, 1961), 共に観測精度の点で満足すべきものではなかった。然るに1964年の太陽活動極小期 (IQSY) を契機として、従来の IGY 型の宇宙線計に代って、新しく IQSY 型の宇宙線計 (super monitor) が開発され (CARMICHAEL, 1964), 中性子成分, 中間子成分とも観測精度の向上により, 細かい宇宙線変動, たとえば日変化の day-to-day の変化についても議論できるようになった。この種の観測器械を4年計画で昭和基地に建設しようとする計画が立案され, 基地再開後二年目の1967年2月, 第8次南極地域観測隊の手によって中性子成分観測装置の一部が昭和基地の新観測棟内宇宙線観測室に設置された。この大型化の計画は1970年第11次隊によって完了し, 中性子成分の他, 中間子成分の測定も行なわれるはずである。

観測器械として初年度は3本の大型中性子計数管よりなる neutron pile (3-NM-64) を持ち, 1967年2月14日より正式に連続観測が開始された。これは1962年1月15日基地閉鎖のためこれまでの中性子観測が中止されて以来5年ぶりのことである。今回の neutron monitor は neutron の multiplicity (多重度: 中性子が計数管の周囲の鉛と核衝突を起こし, 新たに二次中性子を作る性質) 別に multiple event を記録するという方式を採っている点で, 従来のものとはかなり異なっている。即ち, pile に入射した親の粒子のエネルギーは二次中性子の個数と対応するので, この装置によって親のエネルギースペクトラムを常時モニターすることができる。

この報告は中性子測定装置, 観測用建物の概要, 中性子 multiplicityによる気圧効果および宇宙線嵐 (Forbush decrease) の差異等について記述する。

2. 観測装置の概要

2.1. 昭和基地用宇宙線計の計画

基地再開後2年目の第8次南極地域観測隊によって, 3本の super neutron counter とその付属装置が運ばれ, 中性子観測装置 (3-NM-64) が設置されたが, その後の隊によって観測規模は拡充されつつある。各年度毎の計画を示すと表1のようになり, 1970年の第11

次隊の手によって宇宙線計は，中性子計，中間子計とも完成する予定である．

表 1 昭和基地における宇宙線観測計画

Table 1 Planning of cosmic-ray observation at Syowa Station

年（観測隊）	観測装置		1時間あたりの計数値
1967.2（8次隊）	3-NM-64	中性子計	1.2×10^5
1968.2（9次隊）	10-NM-64	中性子計	4.4×10^5
1969.2（10次隊）	12-NM-64	中性子計	5.2×10^5
1970.2以降（11次隊）	{12-NM-64	中性子計	5.2×10^5
	{MT-64	中間子計 (effective area : 8m^2)	3.2×10^6

2.2. 3-NM-64

3本の中性子計数管からなる neutron monitor は，3-NM-64 と一般に呼ばれている．この種の計数管と IGY 型のそれとの特性比較を表2に示した．この中性子計数管以外はすべて国産品で，図1に宇宙線観測室と monitor の配置を示した

表 2 IQSY型, IGY型中性子計数管の性能諸元

Table 2. Comparison between IQSY-type neutron counter and IGY-type one (after HATTON and CARMICHAEL, 1964)

Parameter	IQSY-type	IGY-type
Counter		
Effective length, cm	191	86.4
Internal diameter, cm	14.8	3.66
Gas	$\text{BF}_3 96\% \text{B}^{10}$	$\text{BF}_3 96\% \text{B}^{10}$
Pressure (at 0°C), cm	18.5	45
Effective volume, liters	33	0.91
Diameter/m f p of thermal neutrons	0.375	0.225
Moderator		
Material	polyethelene	paraffin
Thickness, cm	20	3.7 (av)
Producer		
Material	lead	lead
Thickness, cm	5	5
Length, cm	207	102
Mass, kg	1610	230
Reflector		
Material	polyethelene	paraffin
Thickness, cm	7.5	30.5
Length, cm	222	168
Counting rate		
Counting rate (1963, 1.0 GV), hour^{-1}	43,000	2,000

本 monitor は counter の数を自由に増減でき、特に南極用のために輸送能力に応じて最小の人力でも組上かるような小部分の集りて構成されている。この装置の動作原理について

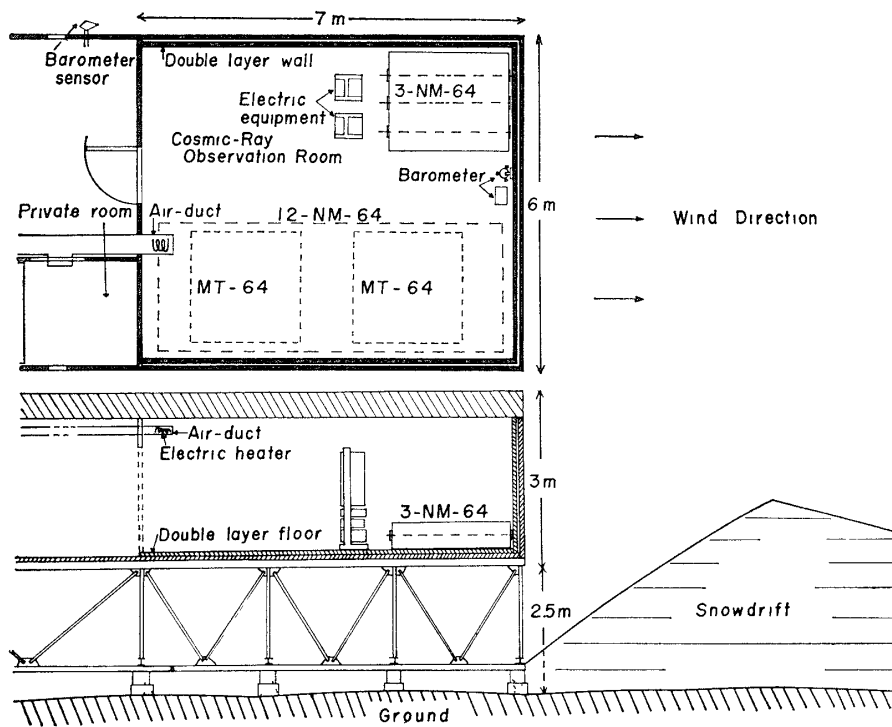


図 1 宇宙線観測室および機器の内部配置

Fig 1 Structure of cosmic-ray observation room and arrangement of apparatus installed there Expected position of 12-NM-64 is indicated by dashed line

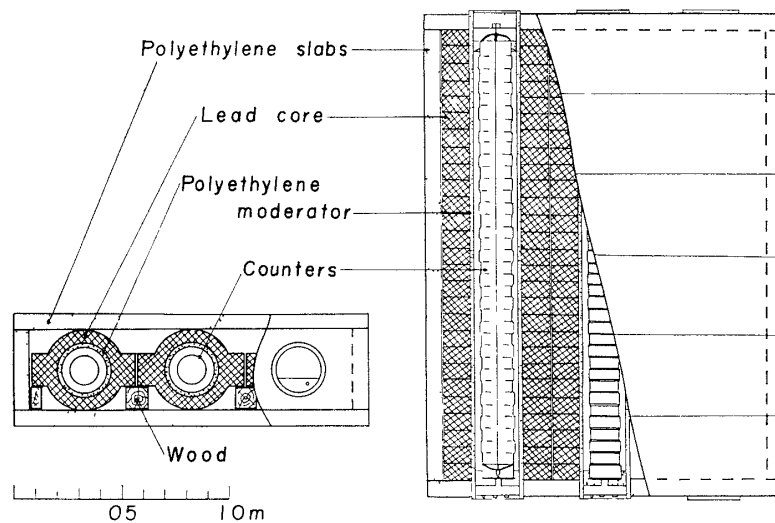
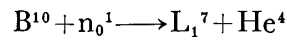


図 2 使用された宇宙線中性子計の構造

Fig 2 Arrangement of 3-NM-64 neutron monitor

簡単に説明すると, counter の周囲にある鉛の原子核に, 一次宇宙線が空気中の原子核との反応によって生じた核子 (nucleon) が入射すると, 原子核は非常に高く励起され, いろいろの粒子 (中性子, 陽子, α 粒子あるいは軽い核) を放出する. この過程を核の蒸発 (evaporation) と呼ぶ. この過程によって生じた中性子は counter 内の B^{10} によって次のような反応を起す.



この反応によって生じた He^4 の大きな電荷が電氣的な信号として外部の電気回路に伝えられる. この時蒸発過程で作られた中性子数は入射した nucleon のエネルギーに比例する (HUGHS and MARSDEN, 1966). 図2に 3-NM-64 の構成を示す. これが左右に延長増設されて 12-NM-64 となり, neutron pile の上下に plastic scintillator が置かれて中間子計となる.

2.3. 読み出し記録装置

Counter からのパルスを異なる multiplicity 毎にふり分けて記録するための読み出し装

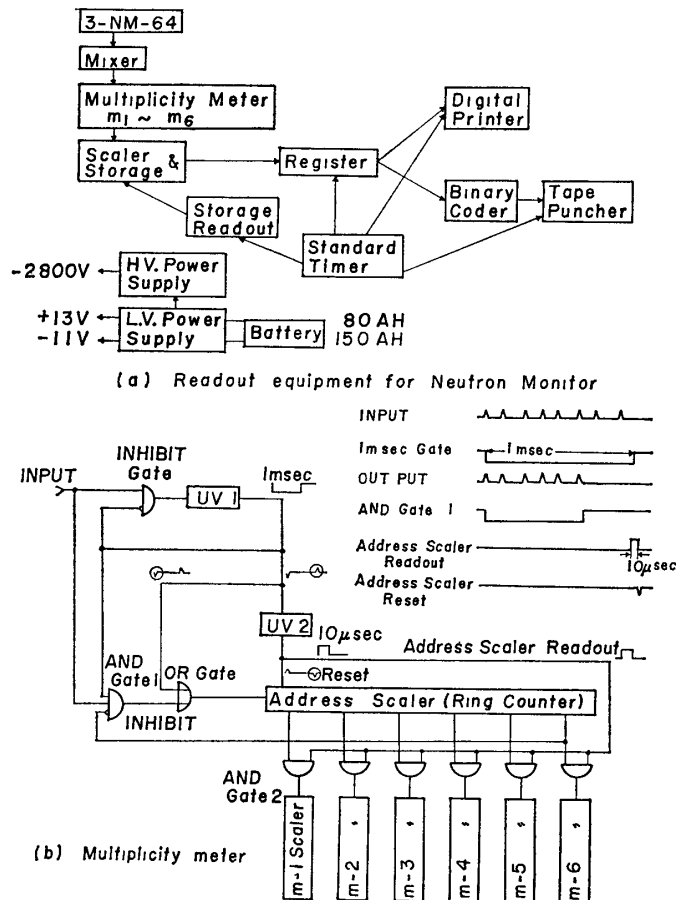


図3 自動読み出し記録装置のブロック図およびマルチプリシティーメーターの動作原理図

Fig. 3. Block diagram of readout equipment for neutron monitor (a) and details of multiplicity meter (b).

置 (readout) は、南極という特殊な条件を考慮し、可能な限りの自動化が試みられている。また記録の確実性を増すために、digital printer と tape puncher とで同時記録する。詳細については後藤等 (1967) によって報告されているので、図3に readout の block diagram のみを示した。Multiplicity meter は二次中性子の多重度 (multiplicity) 毎に各 event 数を計数する方法が採用されている。本装置では入力ゲート幅を 1m sec とし、multiplicity の 1 から 5 までのおのおのと、6 以上との合計 6 チャンネルに分けた。図 3(b) に構成と各部の動作の時間関係を示す。最初一番目の入力パルスでユニバイプレーター UV 1 がトリガーし、1m sec 幅のゲートパルスを発生する。このゲートパルスはそのまま次の二つのゲートに加えられる。その一つは後続パルスにより UV 1 が影響を受けないように設けられた INHIBIT 回路に、他は入力パルスを address scaler に伝えるための AND gate 1 にそれぞれ加えられる。AND gate 1 は、UV 1 のゲートパルスにより 1m sec だけゲートを開くか、もう一つ INHIBIT 回路をもっていて、address scaler に 6 個のパルスかはいり、ring counter の 6 番目が on になると overflow しないように ring counter⑥で INHIBITがかかるようになっている。この様子が図 3(b) の時間関係を示す図の AND gate 1 の所に表わされている。Address scaler は 7 進の ring counter で 1～6 番目のそれぞれの出力が AND gate 2 を通して $N_1 \sim N_6$ の scaler に接続されている。一方、UV 1 の出力パルスは微分されて、その前縁のパルスは OR 回路を通して address scaler に加えられる。これは AND gate 1 がゲートパルスにより開かれても UV 1 のトリガーの遅れにより、1 番目のパルスが AND gate 1 を通ることができないからである。さらに、その後縁のパルスで UV 2 をトリガーし、 10μ sec 幅の正パルスを発生し、読み出し信号として AND gate 2 に加えられ、scaler に読みとられる。UV 2 の出力パルスを微分し、その後縁のパルスで address scaler を 0 番目にリセットする。以上が multiplicity meter の 1 サイクルである。

この装置の特徴を 2, 3 記すると次のとおりである。

1. Multiple event が積分値でなく微分値として直読できること。
2. トランジスタ化された回路が block 毎にプリント基板 1 枚に組みこんでいること。
3. 自動的に気圧補正された中性子強度の monitoring を rate meter で行ない、回路異常および宇宙線強度の監視が容易になっていること。
4. 観測項目の増減に応じて容易に記録方式の変更がてきること。

2.4. 付属装置その他

2.4.1. 電 源

観測用の電源は、基地維持用の一般電源とは別系統の 20KVA の発電機で 50Hz 100 V が使用された。観測棟内の各部門で協力し、妨害となるようなノイズの発生源を極力減らすよう努めた。観測棟に送電された電源のうち定電圧装置を通した 100V を常時使用の観測機器にのみ使用し、棟内の雑電源と分けて使用した。宇宙線部門の観測機器のうち低圧電源用冷却ファン、puncher, printer 用モーター以外はすべて +13V, -11V で作動するように設計しており、floating battery 方式によって安定な電圧を常に供給できた。

2.4.2. 温度モニター

宇宙線計は一般に（特に中間子計）設置してある周囲温度に影響されるので、白金測温体をフリッジ回路に組み、室内温度を連続記録して監視した。室温の制御方法については後述する。

2.4.3. 気 圧

中性子成分の気圧効果は極めて大きいので、気圧の測定を正確に行なう必要がある。基地用の気圧計は気圧の変化を電圧の変化に変換し、アナログ記録計に自記させていた。しかし風がある場合には風速、風向に影響を受けない真の大気圧を気圧計まで正しく導くような気圧取入口 (sensor) が必要になる。このような理想的な sensor の開発は原理的にはかなり困難であるが、昭和基地では、幸いにして風向が年間を通してほぼ一定 (NE) であるため、風速変化に影響されない sensor (KODAMA *et al.*, 1967) を用いた。昭和基地気象室では同じ考えから水平盤型の sensor (清水等, 1957) を使用しているので、今回の気圧値としては、便利なデジタル値として出る気象部門観測の気圧を気圧補正に使用した。強風下の気圧低下を check するため宇宙線観測室にも水銀気圧計を置き、アナログ記録値と比較した*。しかしながら、アナログ式記録計は以前に南極用として作製したもので、いろいろ不備な点があったので、第10次からデジタル化された。

2.4.4. 室温制御装置

昭和基地周辺は南極としては比較的温暖な地域に属するが、それでも最低気温は -40°C 近くまでになる。日較差もかなり大きい。宇宙線強度測定の場合にはその性質上 monitor 内の温度をなるべく恒温にする必要がある。そのため建物も特に断熱効果を考慮して設計されているが、どうしても棟内の温度調整を行なう必要がある。棟内の暖房用として発熱量

* 気象室の値とわれわれの観測値を比較してみたが、強風下ではアナログ記録はほとんどスケールアウトになっており、値が読めないのて、今回は強風下の気圧がどうなるかについての checkは不可能であった。

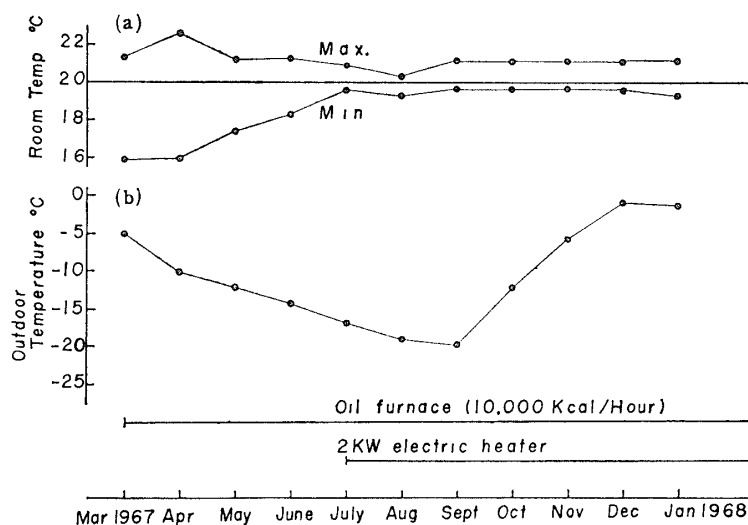


図 4 宇宙線観測室内温度と外気温の変化

Fig 4 Variations of monthly mean values of room temperature (a) and outdoor temperature (b)

10,000kcal/hour の oil furnace を使用し，サーモスタットにより油流量を制御していた．これだけで棟内全体を 20°C 前後に保つということは燃料の浪費でもあり，またフリザード時には，煙突からの逆風で炎が吹き消されることがしばしばあり，宇宙線観測室のみ 20°C に保つことにした．このため補助熱源として，1 kW の電熱線 4 本が別系統で air duct 内に封入され，その制御を自動，手動両用の調節装置を取付け，更に 30cm ファンを追加し室内の空気をかくはんした．これによって，2 kW（4 本のうちの 2 本使用）ヒーターを追加したあとは，南極の冬期間でも $20^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ の室温に保たれている．図 4 の外気温の月平均と室温（最高，最低）との関係から，その様子が分かる．

2.4.5. 新観測棟

新観測棟はフリザードによる吹きだまりをなくすため昭和基地初めの高床式を採用した建物（長さ23m，幅6m，高さ約5.5m）である．天井にははりがなく，屋根パネル自体に強度を持たせてあるため，室内には柱がなく内部が広がっている．宇宙線観測室は二重壁，二重床で窓は無く保温効果をもたせている．特に床は図 1 からわかるように， $1.6\text{t}/\text{m}^2$ の重量に堪えるように，床下の支柱数は他の場所に比べ多くなっている．また冬季における最高の積雪レベルも図示してある通りで，観測への影響は全く無かった．

3. 観 測 経 過

1 月30日より neutron pile の組み立てが始められ，2 月14日より観測を開始した．

更に細部の調整，付属機器の取付けを2月中に行ない，3月より正式の観測 data とした．前述のようにブリザード時の furnace の使用が不可能となり，観測室の温度低下が大きくなったので，7月6日より観測室の温度調節用ヒーター 2 kW を動作させ 30cm ファン1個を新たにとり付けた．読み出し回路については，トランジスターの不良による故障，timer の不安定な時期，観測室の温度低下の時期があったが，越冬期間を通じてほぼ順調な観測を続けた．

第9次隊による neutron pile の増設移転が行なわれた 1968年1月26日まで観測を続けた．その間 Mawson 基地と常に data の交換を行なった．表3に月毎の観測 data の得ら

表3 月別観測日数

Table 3. distribution of complete and incomplete observation days

Month	Nouumber of complete days	Time durations during which no observation data were obtained per day						
		2	4	6	8	10	12-22	24
Mar. 1967	26				1		2	2
Apr.	20	1					2	7
May	27		1		1		1	1
June	29	1						
July	30		1					
Aug.	31							
Sept.	30							
Oct.	30	1						
Nov.	30							
Dec.	27	2				1	1	
Jan. 1968	20		1					
Total	300	5	3		2	1	6	10
Percentage	91.8	1.5	0.9		0.6	0.3	1.8	3.1

れた日数を示す．欠測時間は全体の 9.2%に達するが，その原因と時間を次に示しておく．

原因

欠測時間

Multimeter check

2時間

P. G. による multimeter の check

4

Readout 故障 (プリント基板の不安定)

32

Readout check

4

Timer

6

Room temp. の低下 (data はとれているが採用

てきない)

340

アースラインからの noise 妨害

2

これから温度低下以外による純粹の故障率は 0.6% であったことが分かる。

4. 観測結果の解析

観測値は10分値として各 multiplicity 毎に自動記録されるが、解析を行なう前に各 data を2時間毎に sum up すると同時に、scaling factor を乗じて整理をした。更に total

表 4 1967年7月～9月の平均計数値 (1000mb 換算の1時間値)

Table 4 Hourly mean counting rate observed with 3-NM-64 from July to Sept. 1967, normalized to 1000 mb

	Neutron multiplicity						Total event	Total count	Mean multiplicity
	1	2	3	4	5	≥6			
Counting rate/HR	66,600	14,920	4,177	1,389	546	574	88,206	120,701	1,368
Error %	0 39	0 82	1 55	2 68	4 28	4 16	0 37	0 29	0 37
Percentage of event	75 5	16 9	4 7	1 6	0 62	0 65			

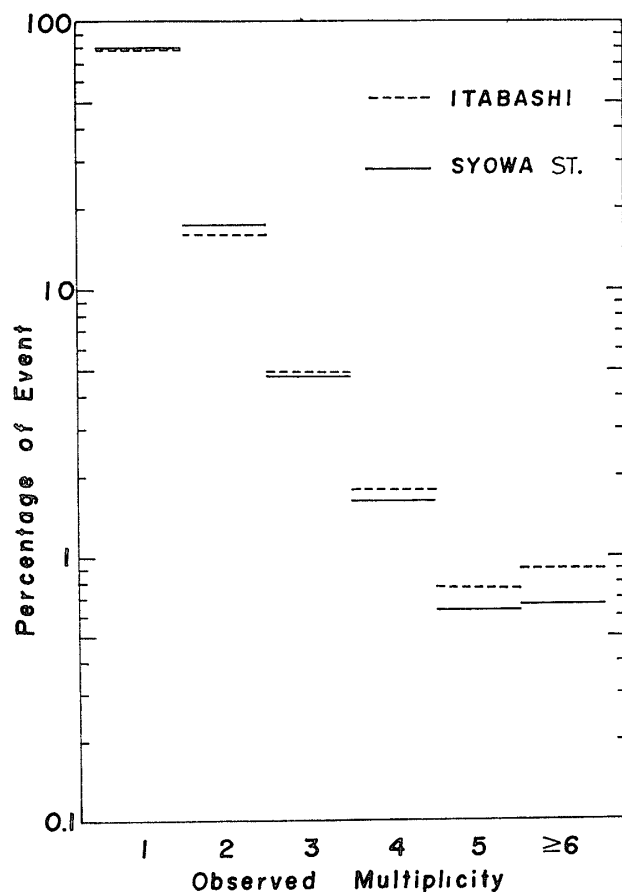


図 5 多重中性子現象の発生頻度分布
Fig. 5. Fractional distribution of detected multiple neutron event

event, total count を以下の式によって求めた.

$$\text{Total event} = \sum_{i=1}^6 A_i \quad A_i : \text{multiplicity 毎の counting rate}$$

$$\text{Total count} = \sum_{i=1}^6 m_i A_i \quad m_i : \text{multiplicity}$$

表4に July~Sept. 1967 の3ヵ月間の各 multiplicity 毎の total event, total count の平均の一時間値を 1000mb に較正して示す.

これらの結果を東京板橋で測定した時の値 (KODAMA and ISHIDA, 1967) と百分率にして比較してみると図5となる. これから分かることは, 低緯度(板橋)では higher multiplicity の contribution が大きいことである. 一次宇宙線の緯度効果を考えれば, 定性的には予想された結果である. しかし更に細かい分析により, 一次宇宙線エネルギーと各 multiplicity との関係が定量的に議論できるであろう. 平均の multiplicity の値は HATTON and CARMICHAEL (1964) の測定値 1.37 ± 0.04 と一致している.

4.1. 気圧効果

宇宙線強度の時間的変化は相当大きく, 核子成分の場合, 気圧の変化に伴うものが大きい. 大気外での時間変化のみ取り出すためにはその影響を除かなければならない. 地上で測定する限り counting rate は大気圧とともに変化している. 即ち二次粒子の数は大気層による吸収過程によってきまってくる. 経験的に counting rate (強度) N は気圧変化量を δp とすると次式で表わされる.

$$\frac{\delta N}{N} = \exp(-\beta \delta p) - 1$$

ここで β を気圧効果係数といい, 核子成分については sea level でおよそ 0.7%/mb である. 普通 β は counting rate とその時間に対応する気圧との単相関から求められる. 気圧効果係数は緯度, 高度, 測定装置などによって異なるために観測地, 測定装置毎にきまる係数を求めておかねばならない. 表5は月毎の気圧効果係数で, 2時間値を用いて計算した結果である. 使用した data は何ら制限を加えずすべて用いたため, 月によって相関係数が必ずしもよいとは言えない. よって表5で括弧内の気圧効果係数を除いた平均値を越冬期間中の気圧効果係数として採用し以下の解析に用いた. Total count についての気圧効果係数 $0.76 \pm 0.02\%/mb$ を, 他の高緯度地方の super monitor の気圧効果係数と比較してみると,

表 5 各月毎の気圧効果係数と相関係数 (Dead time と overlapping effect に対する補正は施されていない)

Table 5 Barometric coefficient and correlation coefficient uncorrected for dead time and overlapping effect

Month	Multiplicity												Total event		Total count	
	1		2		3		4		5		≥ 6		β	r	β	r
	β	r	β	r	β	r	β	r	β	r	β	r				
1967																
Mar	(.68)	99	(.87)	98	(.91)	98	(.95)	95	(.94)	86	(.87)	89	(.73)	99	(.77)	99
Apr.	(.55)	95	(.69)	95	(.73)	95	(.78)	89	(.74)	82	(.79)	83	(.59)	96	(.62)	96
May	(.75)	97	(.87)	97	(.91)	98	(.94)	97	(.93)	86	(.88)	95	(.78)	98	(.81)	98
June	.70	96	83	96	86	96	88	94	89	.86	84	89	74	97	77	97
July	72	99	86	99	89	98	92	97	93	.94	87	95	.76	99	79	99
Aug	69	99	81	99	86	99	89	98	89	95	86	95	72	99	75	99
Sept.	67	99	79	99	.83	99	85	97	88	95	86	94	.71	99	74	99
Oct.	70	99	82	99	87	99	89	98	88	95	87	95	.73	99	76	99
Nov	(.62)	98	(.76)	97	(.74)	97	(.79)	94	(.82)	87	(.82)	88	(.66)	98	(.69)	98
Dec.	70	97	82	97	86	97	88	94	88	90	88	88	74	.97	77	97
1968																
Jan.	.69	94	84	95	89	94	83	86	96	78	89	79	73	95	77	95
Mean	70 \pm 01		82 \pm 02		87 \pm 02		88 \pm 03		90 \pm 03		87 \pm 02		73 \pm 02		76 \pm 02	

β . Barometric coefficient
 r Correlation coefficient

表 6 板橋と昭和基地との気圧効果係数の比較
*Table 6. The barometric coefficients of the detected multiple
 neutron components at Itabashi and Syowa Station*

Neutron monitor		3 - NM - 64	
		Itabashi, 11 5 GV	Syowa Station, 0 5 GV
Multiplicity	= 1	55±.01	.70±.01
	= 2	67±.02	.82±.02
	= 3	73±.02	.87±.02
	= 4	73±.05	.88±.03
	= 5	72±.07	.90±.03
	≥ 6	79±.06	.87±.02
Total event		59±.01	73±.02
Total count		62±.01	76±.02

unit of %/mb

(National Committee for the IQSY and IGY, 1968)

Calgary, Canada	0.77%/mb	(1964)
Deep River, Canada	0.74	(1964)
SANAE, Antarctica	0.73	(1964)
South Pole, U.S.A.	0.75	(1964)

であるので昭和基地の値はこれらと一致する。それ故、この値を補正值に用いた。各multiplicity 毎の気圧効果係数に関しては、IGY-type については DYRING and SPORRE (1966) が、IQSY-type については KODAMA and ISHIDA (1967) が夫々求めているが、一般に low multiplicity 程緯度による変化が大きい。表6に基地用 neutron monitor について求めた気圧効果係数の板橋、昭和基地での夫々の値を示す。昭和基地で求めた気圧効果係数が板橋より大きいのは緯度効果から考えて reasonable である。

4.2. 日変化

地上で観測される宇宙線強度は常にわずかながら日周変化をしている。この日変化を起こす原因としていろいろ考えられているが、周期的な変化は地球の自転のためにおこるが、その際太陽活動が大きく関係している。即ち宇宙空間での宇宙線の太陽時異方性に直接つながる問題である。この日変化を調べるため、気圧補正をした2時間値の月平均値を multiplicity

表 7 日変化と半日変化の振幅および極大時刻
 Table 7 The 1st (a) and 2nd (b) harmonics of diurnal variation of multiple neutron intensities.

(a) 1st harmonics		Multiplicity												Total event		Total count		
Month	1		2		3		4		5		≥6		Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}
	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}						
1967																		
Mar.	2 79	20 18	3 91	19 38	2 62	21 14	4 73	18 28	—	—	3 93	20 62	2 97	19 89	2 95	19 72		
Apr	3 42	19 52	3 94	18 09	2 66	17 56	3 19	20 51	—	—	12 55	18 89	3 44	19 25	3 73	19 10		
May	3 14	14 91	3 43	14 75	4 23	13 80	3 77	12 34	—	—	36	2 48	3 23	14 70	3 25	14 34		
June	1 10	17 21	50	20 13	59	1 14	1 19	96	5 43	9 71	5 00	80	82	17 54	49	18 77		
July	1 09	16 32	1 37	16 47	2 05	18 31	1 82	15 17	3 92	14 97	3 11	17 06	1 22	16 54	1 42	16 60		
Aug.	1 53	16 96	1 39	15 36	3 06	18 95	1 52	14 31	1 07	20 42	3 35	9 55	1 47	16 62	1 39	16 67		
Sept	2 36	16 22	2 45	16 49	2 58	17 27	1 66	20 65	2 14	4 33	3 37	21 00	2 31	16 44	2 16	16.74		
Oct	1 83	14 01	2 53	14 21	2 46	14 80	2 30	9 87	7 18	14 54	5 84	20 43	1 97	14.17	2 06	14 40		
Nov.	1 72	20 31	1 54	18 00	2.19	16 97	2 38	20 26	1 08	1 51	4 45	21 33	1 64	19 91	1 69	19 58		
Dec.	3 43	17 98	4 36	17 48	4 57	17 12	3 69	16 06	5 49	17 31	1 04	2.47	3.63	17 77	3.73	17 67		
1968																		
Jan	3 08	18 50	3 49	19 45	2 76	17 04	4 47	17 54	1 23	19 48	6 26	55	3 08	18 64	3 04	18.83		
Weighted mean	1 93	17 48	2 21	17 12	2 26	17 18	1 64	16 86	1 78	14 52	2 69	21 02	1 97	17 39	1 97	18 83		

(b) 2nd harmonics

Month	Multiplicity												Total event			Total count	
	1		2		3		4		5		≥6						
	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	Amp	T _{max}	
1967																	
Mar.	22	9 89	1 25	7 48	43	5.32	1 16	7 28	—	—	5 37	12.00	.28	8 47	.36	8.10	
Apr.	.16	2 34	95	96	.80	10 20	4 53	10 21	—	—	4 74	2 07	27	1 23	49	.15	
May	95	10 94	62	11.33	1 74	3 31	4 59	11 53	—	—	3 01	4 23	.83	11.07	82	11.31	
June	1.26	1.75	44	86	1 04	9 43	3 16	11.46	6 22	8 42	2 39	1.26	1 04	1 48	.76	.89	
July	54	11 59	.81	2 26	1 57	2 44	49	5 24	1 38	6 99	2 75	6 35	43	.49	39	1.57	
Aug.	35	11 64	16	34	1 11	8 62	1 19	4 80	1 27	23	2.20	8.03	.24	11.75	.22	10.57	
Sept	73	9 94	77	10 66	1 12	9 84	2 36	11 05	5 41	9 82	.66	.91	.77	10 03	96	10.19	
Oct.	13	7 64	78	1 39	77	.58	32	84	3 26	10 87	1 39	8.50	.09	11.34	.22	28	
Nov.	83	2.11	74	57	1.54	3 53	78	5 60	68	2 80	2 35	3.53	.76	2.00	.74	2.25	
Dec.	31	5 10	93	7 79	55	6 87	2 39	53	3 44	69	2.32	9.71	.26	5.53	.18	7.64	
1968																	
Jan	77	11 17	27	6 70	1 95	10.96	2 31	8 61	2 11	4 07	5 90	5 35	58	10 80	44	10 42	
Weighted mean	36	11 33	23	11 91	18	81	1 13	6 98	1 50	9 95	46	2 19	31	09	32	11 74	

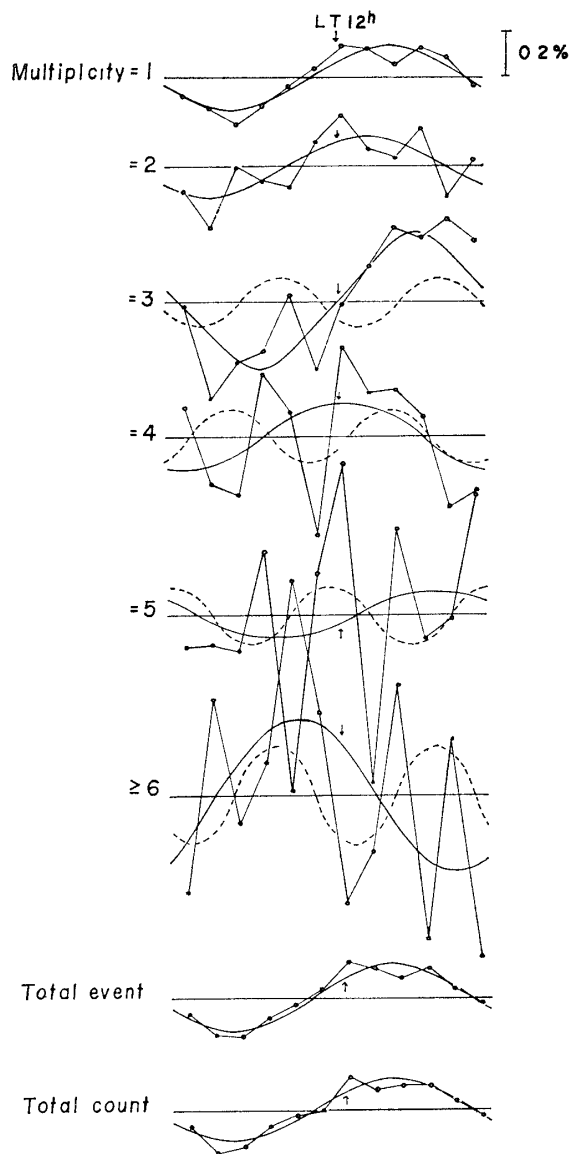


図 6 宇宙線日変化の multiplicity 効果の一例 (1967年8月)

Fig 6 Diurnal variations of neutron intensities observed in August 1967 as a function of multiplicity, where smoothed and broken curves show the calculated 1st and 2nd harmonics, respectively

毎に調和解析を行ない、振幅と極大時刻とを計算した。図6はその一例として1967年8月の各 multiplicity 毎の日変化を示した。Multiplicity=1, 2, 3, 4 までは年間を通して日変化の極大時刻が、16h—19h に集中している。Multiplicity=5, 6 については精度の点で問題があるが、極大時刻は一定していない。しかし興味ある点は、半日変化が multiplicity と共に卓越してくることである。この点については更にくわしい解析に待たねばならない。表7に月毎の極大時刻と振幅を示した。

4.3. Forbush decrease

地磁気嵐に伴って起こる Forbush decrease (宇宙線嵐) は、本越冬期間中表8に示す7例が観測された。表に示された最大減小量は multiplicity=1 の場合で、いずれも 3.5% 以上

表 8 1967年中に観測された Forbush event
Table 8. List of Forbush decreases recorded in 1967.

Sudden commencement	Beginning time of F D	Amount of maximum decrease	Time of maximum decrease	Recovery time
(1) Apr. 4. 0304 UT	4 ^h	3.6%	Apr. 4, 15 ^h	—
(2) May 1, 1906	23 ^h	5.0	May 2, 22 ^h	—
(3) May 24, 1725	23 ^h	9.2	May 25, 23 ^h	May 3, 9 ^h
(4) June 5, 1914	June 6, 0 ^h	4.8	June 7, 5 ^h	June 11, 13 ^h
(5) Sept 19, 1958	21 ^h	4.5	Sept. 21, 2 ^h	Sept. 22, 11 ^h
(6) Oct. 28, 1638	18 ^h	4.5	Oct. 30, 1 ^h	—
(7) Dec 29, 2224	Dec. 30, 15 ^h	3.7	Dec 31, 0 ^h	—

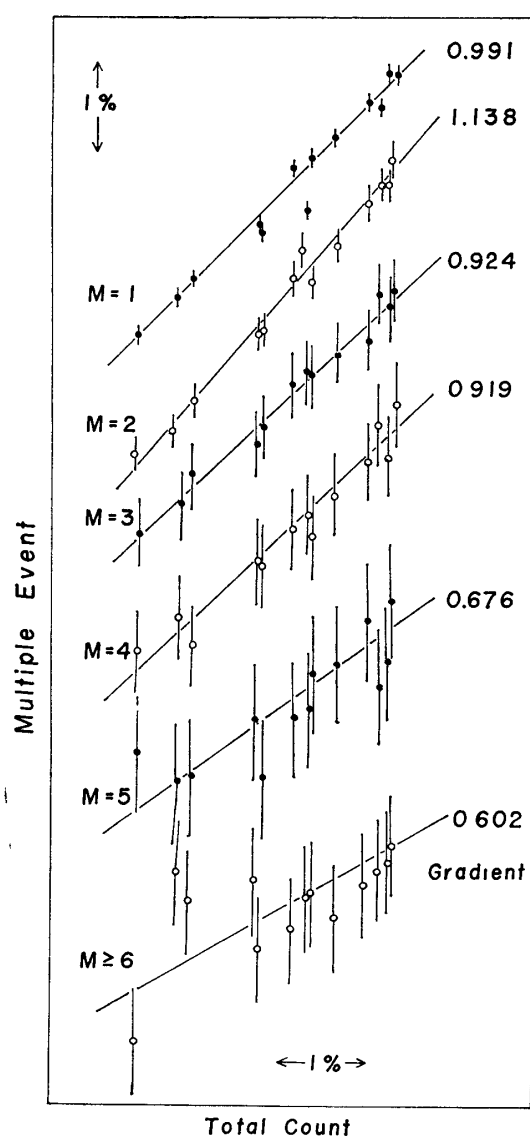


図 7 Forbush 減少 event の multiplicity
効果 1967年中の7例の平均

Fig. 7. Variations of intensities of selected multiplicities relative to the total counting rate in the Forbush decrease events recorded in 1967.

の減少を示している．これらの event における multiplicity effect を調べるために，7 例を平均して，その全体の傾向を求めた．その際，各 multiple event 数の total count に対する割合をとることによって normalize し，かつ sudden commencement の時刻をゼロ点として 7 例を重ね合せた．図 7 にその結果を示したが，これから Forbush decrease の異なる multiplicity に対する dependence を知ることができる．それぞれの場合の gradient を，異なる緯度の観測結果と比較すれば，multiplicity と rigidity とを対応づけることができる．この点に関してはいすれ詳しく報告されよう

(3) の event は本期間中最大のもので，world-wide に decrease があり，同時に storm time increase が起きていることについて既に報告されている (WADA, 1967) そこでは Alert ($82^{\circ}30'N$, $62^{\circ}30'E$, $0.05GV$) の neutron intensity を Dst の基準にして，それとの比較を行なっている．一般に中緯度地方 increase の度合が大きく，低，高緯度になるにつ

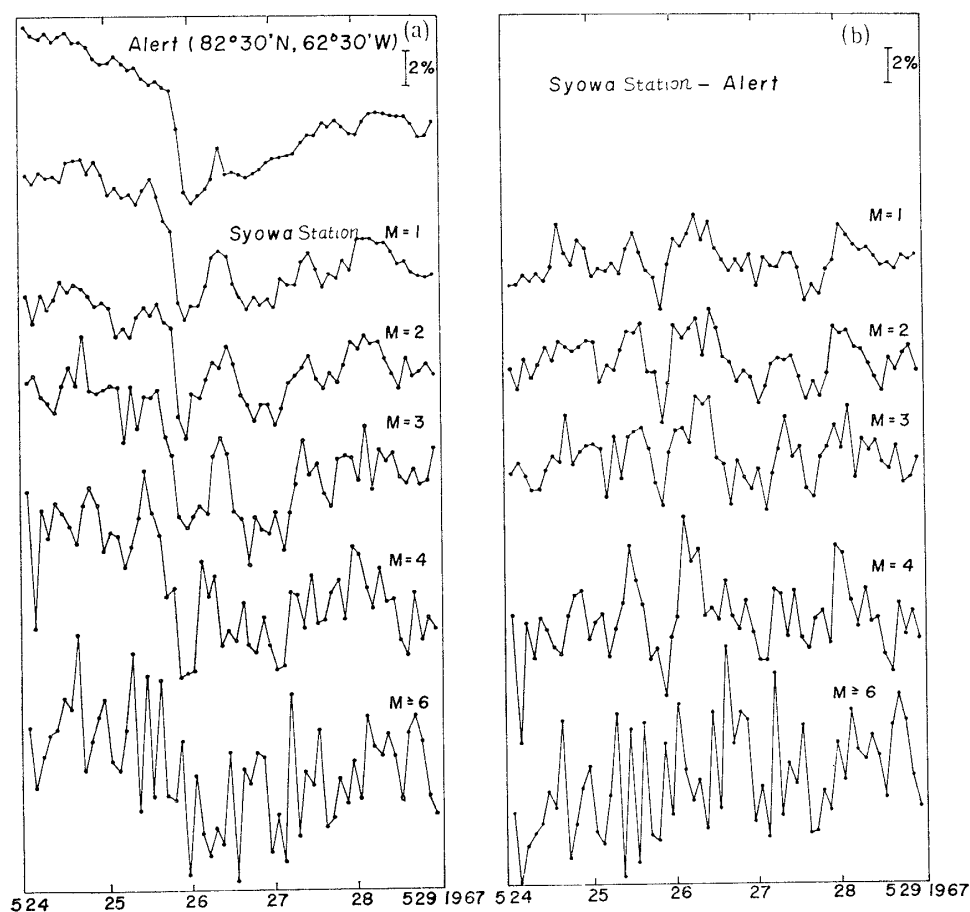


図 8 1967年5月24-28日の Forbush 減少 event 中の強度変化

Fig 8 Variations of the neutron intensity on May 24-28, 1967
(a) original intensity (b) corrected for the variation at Alert

れて increase が目立たないのが過去の event からの観測結果であるが、この event については昭和基地でも increase が multiplicity=4 まではっきり現れている。Multiplicity ≥ 6 については、はっきりした increase が見られない 地球磁場即ち cut off の変化だけでは昭和基地で 0.5% 以上の増加は期待されないもので、5 月の例はこの考えだけで storm increase のすべてが説明できない一つの証拠となる。図 8 に May 24~28 の Alert と昭和基地の中性子成分の強度 (a), 昭和基地の中性子成分強度と Alert の中性子成分の強度との差 (b) を示した。

5. 議論と問題点

正しい観測がなされたかどうかについての基準は、過去の測定値と比較すればおよそ見当がつく。しかし昭和基地での観測 data はまだ少ないために、今回は Deep River の中性子強度と月毎に比較した。即ち、Deep River の観測値と同じ傾向になっていれば、汎世界的な強度の変動と考えられる。図 9 に昭和基地の各 multiplicity 毎の月平均値 (2 時間値) を求め Deep River の 1 時間値を 2 時間値に直して比較した。北半球、南半球の差こそあれ、統計精度のよい multiplicity=1, 2, 3 については同じ傾向で増減していることがわか

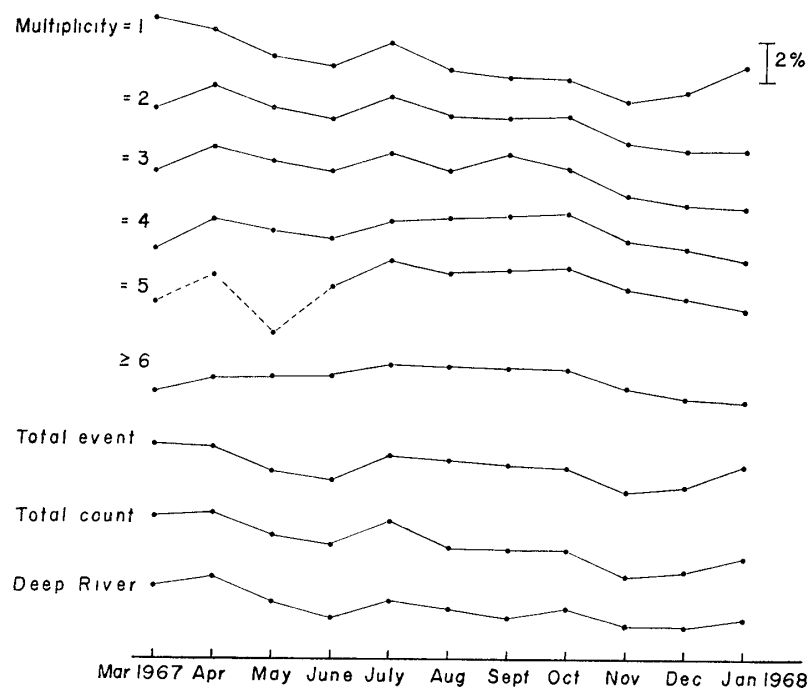


図 9 昭和基地での宇宙線月平均値変化と Deep River のそれと比較
Fig. 9. Comparison of neutron intensities between Syowa Station and Deep River.

る。従って、昭和基地の測定が忠実に宇宙線強度の変化を測定していたと云える。また図 9 からは長期変化の energy response を見る事ができる。

南極の各基地でも宇宙線測定装置を有しているところが多くなり、これまで手薄であった極地方の宇宙線強度の変化については次第に解明が可能になりつつある。将来日変化の day-to-day の議論までなされるためには、現在よりもよい精度で気圧値を測定する努力もなされるべきである。特に極地方は気圧の変動が大きくその補正にも将来検討される余地がある。

現在昭和基地は恒久化されたとはいえ、また設備その他の点で隊員の負担が大きい。欠測を少なくするため昼夜の別なく機器の修理を行なうこともあり、主な部品のスペアをより充実させる必要がある。

さて、これまでの測定で重要なのは、測定された multiplicity 分布か、正しい multiplicity 分布をそのまま表わしているかどうかである。以下この点について議論する。現在得られた data は multiplicity meter のゲートタイムを 1m sec にして測定したが、一つの event で作られた 1 個以上の neutron が全部この幅に入るのに十分な時間なのかどうかである。Super neutron monitor については 1.24m sec で 98% が (CARMICHAEL *et al.*, 1964) IGY neutron monitor については 1.6m sec でほとんど 100% が (DEBRUNNER and WAITHER, 1968) がこの中に入ると報告されている。われわれのゲートタイムは 1m sec なので、異なる monitor を互いに比較するためには補正が必要になってくる。またこのゲートタイムを長くすることによって、一つの event が終了してもすぐ次の event が入り込むという event overlap の起こる問題がある。彼等は 0.75m sec のゲート幅を採用することによってこの二つの補正を加えた後の data の精度が一番よいという報告をしている。

以上二つの補正がなされた後はじめて multiplicity meter を使用して得られた結果は、他観測所における同種観測を比較しうる一般的意味を持つと云ってよい。今までの解析ではその点の考慮がまだなされていないので再検討し、最終的な報告をする予定である。

以上大型宇宙線中性子成分測定装置が昭和基地に設置されてはじめての data を取り扱ったか、観測上でのいろいろの支障、種々の補正に対する検討はまた十分でなく、解析というよりは単なる data 整理報告の段階である。今後必要な補正を加え初めて物理的解釈につながることになる。なお data の整理、解析には理研計算機室 OKITAC 5090 M, H を使用した。

終りに、この project に興味を示し推進してくれたさった南極関係の諸氏ならびに理化学

研究所, 宮崎友喜雄博士の終始変らぬ熱意と激励に感謝したい. また福島大学菅野常吉教授に多大の便宜をはかっていただいた. 第8次南極地域観測越冬隊, とりわけ気象担当, 超高層物理担当者には陰に陽に観測にあたっての好意と助言をいただいたことを記し謝意とする.

文 献

- CARMICHAEL, H. (1964) IQSY Instruction Manual, No. 7, Cosmic Rays, IQSY Secretariat, London.
- DEBRUNNER, H. and U. WALTHER (1968). Multiplicity measurement on the IGY neutron monitor at Jungfraujoch. *Can. J. Phys.*, **46**, s1140-s1144
- DYRING, E. and B. SPORRE (1966): Multiplicity measurements on the Uppsala IGY-neutron monitor. *Ark. Geophys.*, **5**, 79-85.
- FUKUSHIMA, S., M. KODAMA and Y. MIYAZAKI (1961): Cosmic-ray neutron monitor at Syowa Base, Antarctic. *Antarctic Rec.*, **4**, 174-178
- 後藤栄一郎, 大内徹也, 中谷英夫, 大沼 勇, 小玉正弘 (1967)・南極用宇宙線計自動読み出し記録装置. 理化学研究所報告, **43**, 49-61.
- HATTON, C. J. and H. CARMICHAEL (1964): Experimental investigation of the NM-64 neutron monitor. *Can. J. Phys.*, **42**, 2433-2472
- HUGHS, E. B. and P. L. MARSDEN (1966)・Response of a standard IGY neutron monitor. *J. Geophys. Res.*, **71**, 1435-1444.
- 北村泰一, 福島 紳, 小玉正弘 (1959): 第一次越冬隊宇宙線部門報告. 南極資料, **6**, 1-21
- KODAMA, M., Y. ISHIDA and I. SHIMIZU (1967): Development of a barometric sensor insensitive to high winds. *J. Met. Soc. Japan*, **45**, 192-195.
- KODAMA, M. and Y. ISHIDA (1967)・Multiplicity measurements of cosmic ray neutron monitor in low latitude. *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **21**, 55-58
- NATIONAL COMMITTEE FOR THE IQSY AND THE INTERNATIONAL GEOPHYSICAL COORDINATION, SCIENCE COUNCIL OF JAPAN (1968): Cosmic-ray intensity during the International Years of the Quiet Sun, **11**, **12**, **13**.
- 清水逸郎, 矢島幸雄, 宇野義郎, 佐藤 高, 松岡登志 (1967). 気圧の取入口. *天気*, **14**, 147-150.
- WADA, M. (1967): A storm-time increase in cosmic-ray intensity on May 25-26, 1967. *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **21**, 223-228.

(1969年3月24日受理)